L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

"Io non so che cosa possa aver pensato di me il mondo, ma per conto mio mi sembra di essere stato come un fanciullo che, giocando sulla riva del mare, si sia divertito a trovare, di quando in quando, un ciottolo più liscio o una conchiglia più bella dell'ordinario, mentre l'immenso oceano della verità stava davanti a me ancora tutto da scoprire". *ISAAC NEWTON*

Il grande esperimento



di *Giuseppe Furlan*,
Dipartimento di fisica teorica,
Università di Trieste

L'umanità intera sta effettuando, più o meno consciamente, un grandioso esperimento di geofisica, iniziato con la rivoluzione industriale. Un esperimento che non si svolge in laboratorio o al calcolatore, ma sul nostro pianeta, attraverso l'aumento del contenuto nell'atmosfera di anidride carbonica (l'ormai famosa CO_2) e di altri gas, aumento dovuto all'uso continuato di combustibili fossili (carbone, petrolio) e alla progressiva riduzione delle foreste.
I risultati di quest'esperimento cominceranno ad esser noti tra alcune decine d'anni ed è ragionevole aspettarsi che comporteranno un profondo cambiamento climatico, anche se le previsioni espresse dalla comunità scientifica sul tipo di clima che si stabilirà sulla Terra sono tutt'altro che unanimi e variano da scenari catastrofici (con un aumento medio della temperatura di alcuni gradi — per effetto serra — e conseguenze quali l'innalzamento del livello dei mari, un cambiamento nella distribuzione della piovosità e così via) ad altri meno allarmistici.

Comunque il mondo scientifico è unanime all'ammonire i governi a tener presenti anche le ipotesi più pessimistiche, fornendo nel contempo alla scienza i mezzi necessari per un rapido miglioramento delle conoscenze e rendendo l'opinione pubblica conscia dei pericoli incombenti. Questo è il vero messaggio che dovrebbe emergere, al di fuori delle amplificazioni della stampa, dalla recente conferenza sul clima tenutasi a Ginevra lo scorso novembre.
In realtà l'"esperimento" sull'effetto serra cui stiamo partecipando è soltanto uno degli aspetti della transizione che viene presentemente denominata "cambiamento gobale" (Global Change), *che deriva dall'interdipendenza tra sviluppo umano e ambiente. Si tratta di un problema che, antico come la nostra civiltà, è divenuto oggi cruciale per la sua complessità e le dimensioni di quest'interazione e delle sue conseguenze.*
Abbiamo assistito da molti anni a un esaltante aumento delle conoscenze scientifiche e della loro utilizzazione. Lo scrigno della ricerca è sempre più prodigo: accanto ai progressi continui della ricerca fondamentale, lo studio dei processi e dei materiali per nuove forme di energia, l'intelligenza artificiale e le tecnologie legate all'informazione, la biologia molecolare e le biotecnologie dei mari e dello spazio lasciano intravedere la soglia dela transizione verso una nuova fase del vivere umano.
C'è tuttavia un elemento che può condizionare e rallentare questo sviluppo, almeno sul breve termine, ed è rappresentato dall'ambiente, una risorsa naturale preziosa e non sempre rinnovabile. La corrente degradazione dell'aria, dell'acqua e del suolo, gli eccessi nello sfruttamento delle risorse, i cambiamenti ecologici e climatici costituiscono fenomeni in parte irreversibili, comunque difficili da recuperare, legati all'inevitabile sviluppo delle attività umane.
Esiste inoltre una seie di responsabilità che coinvolgono tutta la famiglia umana e non soltanto la sua componente scientifica. La responsabilità verso le generazioni future, alle quali va lasciato un pianeta non compromesso irrimediabilmente e che possa garantire una qualità di vita adeguata a tutti i suoi abitanti. La responsabilità della parte ricca e consumatrice delle nazioni nei confronti dei Paesi in via di sviluppo che si avviano con l'ingresso nella modernità a richiedere la loro parte di beni. La responsabilità da parte proprio di questi Paesi di adottare, con la nostra collaborazione, quelle forme e quelle tecnologie (specialmente energetiche) che limitino la minaccia sull'ambiente.
E' indispensabile che prevalga un atteggiamento per cui lo sviluppo socio-economico non prescinda più dalla variabile ambiente ma venga mantenuto entro i limiti di un'appropriata conoscenza del sistema Terra.
Trieste, attraverso le sue istituzioni scientifiche, può giocare un ruolo importante e unico in questo senso, soprattutto per quel che riguarda i rapporti con i Paesi in via di sviluppo. E' di pochi anni la creazione a Gorizia di un Centro di ecologia teorica e applicata, dove ricercatori delle Università di Trieste e di Udine operano in un contesto regionale e internazionale (nell'attesa che le rispettive Università si decidano a istituire l'atteso Centro interuniversitario sull'ambiente). Ed è di recente costituzione a Trieste un Centro internazionale per le scienze della Terra e dell'ambiente (ICEEM), destinato ad affiancare in questi settori l'azione che il Centro internazionale di fisica teorica conduce da oltre vent'anni nei confronti del Terzo Mondo. Senza una convinta partecipazione di questi Paesi non si va molto lontano in nessun programma di gestione accettabile dell'ambiente.
In molte parti del mondo, e del Terzo Mondo in particolare, le condizioni naturali sono ostili — terremoti, inondazioni, uragani, siccità — e non potranno esserci progetti di sviluppo senza una conoscenza appropriata di tutti questi fenomeni. Nella maggior parte dei casi le sinergie non potranno venir cambiate: lo sviluppo dovrà adattarsi realisticamente alle condizioni locali e questo implica una loro conoscenza e comprensione approfondita.
Le scienze della Terra rappresentano un campo di ricerca che è al tempo stesso del più stimolante interesse intellettuale e della più grande importanza pratica. In generale si tratta di studiare e capire il comportamento di un sistema estremamente complesso, il nostro pianeta, che include la litosfera (la Terra solida in generale), gli oceani, l'atmosfera, i ghiacci e la biosfera: ognuno di questi componenti ha le proprie scale di tempi e le reciproche interazioni danno luogo a una serie di reazioni e controreazioni che rendono il problema difficile e affascinante insieme, con aspetti non ancora risolti della fisica classica su grande scala. E, soprattutto, le scienze della Terra e dell'ambiente hanno un carattere genuinamente internazionale. Sono infatti richiesti dati e informazioni da tutte le parti del pianeta e i risultati delle ricerche hanno necessariamente implicazioni sia locali sia globali.
In questo spirito il nuovo Centro di Trieste ha iniziato una serie di programmi "pilota" di ricerche dedicate alla previsione dei terremoti, all'uso di modelli di circolazione generale per previsioni climatiche nelle zone tropicali e subtropicali, alle interazioni atmosferiche, alle tecnologie marine, all'elaborazione di sistemi informatici per il territorio. Vi partecipano ricercatori di tutte le nazioni, con una forte componente dall'Est europeo: accanto alla produzione e alla distribuzione di valori scientifici avanzati vi è l'idea di favorire attraverso queste collaborazioni la nascita nei vari Paesi in via di sviluppo di unità di ricerca nel settore delle scienze ambientali, che possano, al momento opportuno, aiutare i rispettivi governi nel ridefinire le loro priorità.

Metti il gene giusto nel DNA "sbagliato"

Intervista a *Arturo Falaschi*

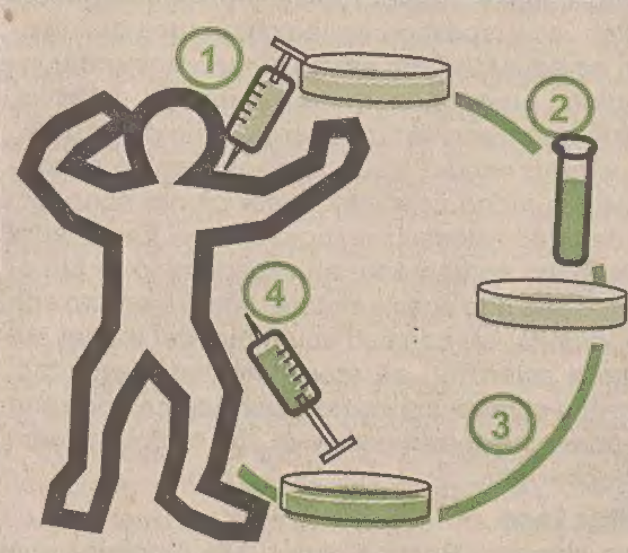
Centro internazionale di ingegneria genetica e biotecnologia, Trieste/Nuova Delhi

Professor Falaschi: la terapia genica consiste nell'introduzione di sequenze di DNA all'interno di una cellula allo scopo di correggere una malattia. Si può intervenire in due modi: a livello delle cellule somatiche oppure a livello delle cellule germinali (nel qual caso la modificazione verrà trasmessa alla progenie). Cominciamo dall'intervento a livello somatico: come viene effettuato?
Teoricamente, gli approcci possibili sono due: sostituire una sequenza patologica di DNA con una sequenza 'corretta'; oppure aggiungere ai cromosomi un gene o una sequenza di DNA capace di correggere in qualche modo l'effetto provocato dal gene 'sbagliato'. Il meccanismo ideale sarebbe il primo: un intervento equivalente a quello d'un meccanico che sostituisce il pezzo difettoso di un'auto. Purtroppo con le cellule animali ci sono grosse difficoltà: una volta che il DNA è penetrato nel nucleo della cellula esso viene sì integrato nel genoma, nel patrimonio genetico, ma l'integrazione è perlopiù casuale. Non è possibile, insomma, scegliere il punto esatto in cui inserire il tratto nuovo di DNA. Si rischia così non solo di non indurre alcun effetto positivo, ma addirittura di provocare qualche danno ulteriore alla cellula, magari attivando un oncogène e trasformandola così in cellula tumorale. Nonostante queste limitazioni e questi rischi, tuttavia, le tecnologie disponibili consentono di guardare con ottimismo a questi tentativi di terapia genica.
Qual è la procedura utilizzata?
Le cellule del midollo osseo paiono il mezzo migliore per inserire stabilmente un gene nell'organismo. Possono venire estratte facilmente dallo sterno mediante un semplice 'puntato sternale', paragonabile a un prelievo di sangue. Poi vanno coltivate in vitro e quindi 'manipolate', introducendo il gene assente. Infine le cellule si iniettano endovena nel paziente: una certa percentuale si localizza spontaneamente nel midollo osseo e qui cominciano a riprodursi. Parte delle nuove cellule avranno quindi nel proprio genoma il gene che abbiamo trapiantato, il quale produrrà quell'enzima o quell'ormone la cui assenza determinava la malattia genetica.
Quali patologie ereditarie si può pensare di curare con questa tecnica?
Quelle in cui non è indispensabile una regolazione fine dell'espressione del gene introdotto, scelte comunque tra quelle in cui è sufficiente l'espressione del gene nelle cellule del midollo osseo. Attualmente l'attenzione dei ricercatori è concentrata su certe malattie di immunodeficienza combinata, dette in gergo SCID, dalle iniziali di Severe Combined Immune Deficiencies. Si tratta di malattie che riducono il numero dei linfociti, le cellule del sistema immunitario che producono tra l'altro quegli anticorpi che ci proteggono dalle infezioni: la loro diminuzione abbassa le nostre difese organiche nei confronti di batteri e virus patogeni. Esistono sostanzialmente due tipi di SCID: quella derivante dalla carenza di un enzima chiamato adenosina deaminasi (ADA) e quella dipendente da deficienza di purin-nucleoside fosforilasi (PNP). I portatori di queste deficienze genetiche sono soggetti a infezioni di ogni tipo. Un po' come avviene per l'AID S, anche se si tratta di due cose totalmente diverse. Da tempo si era visto che il malato di SCID risponde positivamente alla somministrazione dall'esterno di ADA. Per questo si è deciso di tentare la terapia genica su questi pazienti.
Fin qui abbiamo parlato di interventi sulle cellule somatiche. Ma che cosa si può dire, invece, a proposito della terapia genica a livello delle cellule germinali?
Al momento c'è un ragionato consenso di mettere al bando ogni tentativo del genere. La ragione di fondo sta in quella casualità di cui parlavo prima. La sostituzione o l'aggiunta di un gene è per sua natura un processo intrinsecamente stocastico, casuale. E' un meccanismo che richiede la rottura e la ricostruzione di legami chimici, e questi processi atomici ricadono nel 'principio di indeterminatezza' di Heisenberg. In altre parole: possiamo prevedere la probabilità statistica che una determinata cellula integri il gene mancante in modo corretto, ma probabilmente non riusciremo a manipolare a nostro piacimento un cromosoma inserendo il gene nel punto voluto. Solo dopo aver ottenuto il prodotto dell'unione tra spermatozoo e ovulo potremo verificare se c'è o meno il gene che abbiamo trapiantato. A quel punto dovremmo però eliminare tutti i prodotti della fecondazione in cui l'integrazione non si è verificata. E questo equivale a provocare una serie di aborti, tanto per essere espliciti. Rischiamo così di provocare danni maggiori di quelli che vogliamo curare.
Giungiamo dunque alla dimensione morale di questi interventi. In America il 'via libera' ai ricercatori è stato dato da un comitato etico nazionale. E in Italia?
Da noi ci sono due comitati che avrebbero la competenza di occuparsi di questi problemi. Un comitato tecnico che presta la sua consulenza al ministro della Sanità allo scopo di elaborare una proposta di legge in materia, applicando una direttiva CEE del marzo di quest'anno. E poi un comitato etico che si occupa della liceità delle metodiche di fecondazione in vitro. Ma in Italia c'è una gravissima carenza a monte: manca completamente una legislazione sulla sperimentazione umana. Gli animalisti si preoccupano molto — e giustamente — della sperimentazione sugli animali. Ma in quel settore, almeno, abbiamo una legge. E neppure cattiva. Per la sperimentazione sull'uomo, invece, non esiste alcuna legislazione. Tanto che, in genere, si applicano le norme americane.
Negli Stati Uniti si è creato un movimento di opinione contro l'ingegneria genetica, condotto da Jeremy Rifkin, provocatorio "difensore sociale". In Italia vi sono state forti proteste da parte della sinistra e dei verdi nei confronti del ministro della Sanità De Lorenzo, che ha autorizzato la sperimentazione all'Ospedale San Raffaele. Qual è la sua opinione in proposito?
Non ho davanti a me il protocollo dell'esperimento che Bordignon si accinge a realizzare a Milano, ma mi sembra un intervento del tutto legittimo. Penso che la reazione suscitata in Italia dall'annuncio di questo primo intervento di terapia genica sia stata più istintiva che ragionata. E soprattutto poco informata su ciò che si intende fare.





Nei prossimi giorni, a Milano, all'Ospedale San Raffaele, un bambino bresciano verrà sottoposto per la prima volta in Europa a un esperimento di trapianto genico. Il piccolo (3 anni e mezzo) soffre di una immunodeficienza congenita che rende il suo organismo sensibile all'attacco dei germi più banali. Ne sono affetti una settantina di bambini in tutto il mondo, destinati a morire entro i cinque/sei anni.
In questo momento la vita del piccolo paziente è affidata alla somministrazione dell'enzima di cui è carente. Ma non potrà andare avanti a lungo. L'unica speranza è affidata alle nuove armi messe a punto dall'ingegneria genetica. A tentare di inserire nel suo organismo il gene mancante sarà l'équipe di Claudio Bordignon, responsabile del servizio di ematologia del San Raffaele, il cui comitato etico ha appena dato 'luce verde' all'intervento.
Bordignon (analogamente a quanto hanno fatto i ricercatori americani) impiegherà come 'veicolo' per il gene i linfociti estratti dallo stesso paziente. Ma la risposta definitiva alla malattia potrà venire solo dall'impiego di cellule di midollo osseo, come spiega qui accanto Arturo Falaschi, direttore generale del Centro internazionale di ingegneria genetica e biotecnologia che ha sede all'Area di ricerca di Trieste (nella foto qui sopra).



Schema di un intervento di ingegneria genetica. Cellule di midollo osseo vengono prelevate dal paziente e messe in un terreno di coltura per farle crescere e riprodurre (1); la coltura viene infettata con un virus a RNA (detto 'retrovirus') nel quale è stato inserito il gene che si vuole trapiantare (2); il gene si integra nei cromosomi delle cellule in coltura di midollo osseo (3); le cellule modificate vengono iniettate nel paziente, introducendo così nell'organismo il gene prima assente (4). L'organismo sarà quindi in grado di produrre quell'enzima la cui carenza provocava la malattia.

Nuovi occhiali per la scienza • *rubrica a cura di* Ettore Panizon

Il microscopio elettronico a trasmissione

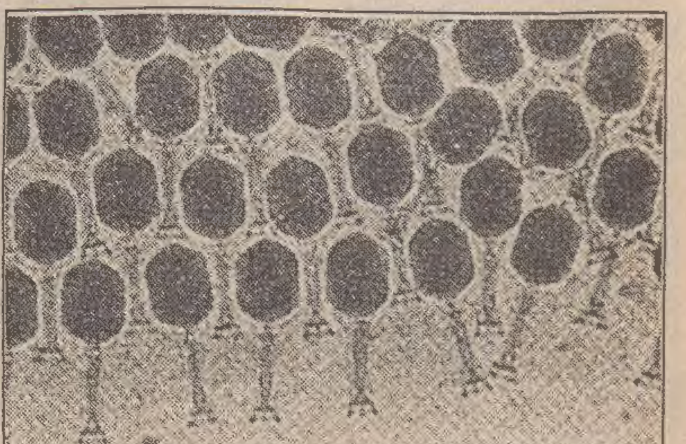
Le immagini di questa rubrica ci introducono alla seconda tappa del nostro viaggio alla scoperta dei "nuovi occhiali per la scienza", di quegli strumenti cioè che gli scienziati impiegano per scoprire la natura sia nell'estremamente piccolo (con i microscopi) sia nelle più profonde lontananze dello spazio (con i telescopi e i rivelatori astronomici).
Risale a poche settimane fa la notizia della prima fotografia di un atomo di ossigeno. A effettuarla è stato un gruppo di ricercatori giapponesi, con un *microscopio elettronico a trasmissione.* Il microscopio elettronico a trasmissione (che risale al 1932, precedendo di cinque anni il primo microscopio elettronico a scansione) ha la stessa struttura del microscopio ottico: un fascio di luce condensato da una lente attraversa il campione e viene poi focalizzato da un'altra lente. Solo che il microscopio elettronico a trasmissione (abbreviato: TEM) al posto della luce visibile usa un fascio di elettroni, e campi elettromagnetici invece di lenti ottiche.
Come vedevamo nella precedente "puntata" di questa rubrica a proposito del microscopio elettronico a scansione, la "luce di elettroni" (la radiazione elettronica) permette di risolvere dettagli in teoria migliaia di volte più piccoli di quelli risolvibili con la luce visibile. Il TEM tende a utilizzare al massimo questo potere risolutore. A differenza di quanto accade nel microscopio a scansione, difatti, con il microscopio a trasmissione il fascio di elettroni che viene usato come luce non "spazzola" la superficie dell'oggetto fornendone di riflesso una rappresentazione topografica tridimensionale, bensì attraversa perpendicolarmente il campione in un unico punto, producendo un'immagine piatta, una specie di ombra.
Il tipo di oggetto osservabile con la microscopia a trasmissione è quindi completamente diverso, perché, affinché l'ombra possa risultare informativa, il campione deve essere così sottile da risultare quasi trasparente al fascio di elettroni. Questo, in pratica, significa che il campione deve avere uno spessore dell'ordine dei milionesimi di millimetro. Ciò non solo richiede l'uso di macchine e di materiali spe-

Continua a pagina 4

Fotografia al TEM del DNA fuoriuscito da un virus.



Sottile strato vetrificato di virus batteriofago (cortesia Philips).



L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

NOVITA'

dal Laboratorio dell'Immaginario Scientifico

LA SCUOLA IN BIBLIOTECA
Continua l'attività della *Biblioteca scientifica per ragazzi*. Sono già numerose le classi delle elementari e delle medie inferiori che hanno svolto, o svolgeranno nei prossimi mesi, animazioni e ricerche. Tra i temi trattati: il sistema solare, il clima della Terra, l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, i terremoti, la cellula (itinerario didattico che comprende la visita al Museo civico di storia naturale e un "incontro" con la microscopia), grandi viaggi e grandi viaggiatori (con visita al Museo del mare). Tra le collaborazioni con altri musei e istituzioni scientifiche della città, citiamo l'accordo con i Civici Musei di storia ed arte: tutte le classi che faranno richiesta di visitare le sale dedicate alla preistoria dei Civici Musei potranno infatti recarsi prima nella *Biblioteca* del Laboratorio per compiere una ricerca guidata.

PICCOLI ARCHEOLOGI
E' in corso, tra *Biblioteca scientifica per ragazzi* e Civici Musei di storia ed arte, una collaborazione per la sperimentazione didattica con alcune terze elementari di Trieste sulla preistoria, un campo interdisciplinare dove il metodo storico e quello scientifico più naturalmente si incontrano.
Le classi realizzeranno uno scavo archeologico, simulato ma realistico nei suoi tratti essenziali: sotto la guida di Serena Mizzan (archeologa e collaboratrice dei Civici Musei di storia ed arte) potranno ritrovare dei resti preistorici sepolti in un "terreno" appositamente allestito al *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico*. Come i veri archeologi, dovranno poi confrontare, nella *Biblioteca scientifica per ragazzi*, i loro ritrovamenti con le illustrazioni e i testi sull'argomento, scoprendone l'epoca e l'uso. Successivamente il confronto verrà fatto sui reperti ritrovati in regione ed esposti nelle sale dedicate alla preistoria dei Civici Musei.

LE CONFERENZE
Dal 25 gennaio al 15 febbraio il *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico* organizza un nuovo ciclo di incontri intitolato *Emergenza ambiente*: le manifestazioni, si terranno presso il Teatro Miela Reina di Piazza Duca degli Abruzzi 3, e sono organizzate in collaborazione con l'Università di Trieste, il CETA, il Laboratorio Interdisciplinare della SISSA. Sei conferenze e due tavole rotonde per farsi un'opinione sui veri e falsi problemi della ricerca in ecologia.

SENTINELLE AMBIENTALI
In contemporanea al ciclo di conferenze sull'ambiente verrà allestita, nel comprensorio della Fiera annesso al *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico*, una piccola mostra sulle tecniche di monitoraggio ambientale e di mappatura del territorio che fanno uso di bioindicatori e in particolare di licheni. La mostra è organizzata in collaborazione con il centro interdipartimentale "Valerio Giacomini" dell'Università di Trieste.

GLI SCIENZIATI RACCONTANO
Un incontro tra ricercatori e insegnanti di scienze delle scuole medie inferiori e superiori interessati a rinnovare le proprie conoscenze sui metodi di osservazione scientifica nell'universo microscopico; nel corso di questi incontri informali potranno trovare risposta molti interrogativi su quali siano le attuali metodologie per vedere le particelle, gli atomi, le molecole, la macromolecole, i virus, gli organi subcellulari, le cellule e i tessuti.

STRUMENTI PER LA RICERCA DIDATTICA
Due ricerche promosse dal Laboratorio offriranno preziosi strumenti sussidiari all'attività didattica: una mappa della produzione della filmografia scientifica italiana. Questo catalogo, già su supporto informatico, è un elenco dei film, video, enti e operatori su vari argomenti del settore da utilizzare come archivio continuamente aggiornabile per la futura videoteca. Un'altra ricerca, invece, dovrà dare un panorama significativo delle più importanti sperimentazioni di didattica scientifica in corso di svolgimento attualmente in Italia.

VERSO IL MUSEO DELLA SCIENZA
Sono allo studio due nuove sezioni interattive dell'*Immaginario Scientifico*; in *Vedere le cose* si potrà seguire un percorso didattico, scandito per tappe che vanno dalla realtà percepita alle leggi dell'ottica: il senso delle illusioni, le figure ambigue, le figure impossibili, percepire i colori, lo spettro e le leggi dell'ottica. Un'altra sezione, *Osservare la natura*, offrirà una scelta di strumenti e di metodi utilizzati nell'osservazione scientifica dei fenomeni naturali a varie scale: quella microscopica, quella antropica e quella astronomica.
Per informazioni: rivolgersi al Laboratorio dell'Immaginario Scientifico, P.le De Gasperi 1, tel. 390785.

La scienza *hands on*
una ricetta anglosassone

Sui possibili modelli di museo come macchina ideale per la divulgazione della cultura scientifica molto ancora si discute, da alcuni anni, in tutto l'Occidente; ma il Regno Unito, il Paese che presenta attualmente la più alta densità di musei scientifici interattivi (12 già in funzione e altri 9 in cantiere), sembra non avere dubbi. L'enorme successo di cui godono queste istituzioni e la loro rapida diffusione confermano la validità della scelta, ma rivelano anche un retroterra culturale esteso e molto omogeneo.

Hands on: che significa?
Pur nelle loro diversità questi musei hanno criteri generali che fanno capo a una filosofia comune: sono *hands on* ("mani sopra"), termine con cui si definisce sia il tipo di apparecchiature sperimentali presenti nel museo sia il loro uso. Il pubblico non solo può, ma deve manipolarle per produrre delle esperienze significative. La sua interazione con lo spettatore-utente deve essere la più ampia possibile e andare oltre a quella del premi-bottone (in inglese suona *press-button*!).

L'idea base
L'idea base è riassunta in un'altra sintetica espressione inglese: *try yourself* ("provaci da solo"): l'esperienza diretta ti dice più cose sulla realtà e te le fa capire meglio di qualsiasi intermediario, sia esso libro o insegnante. Certo non tutto può essere trasmesso esplorando in modo attivo e personale, ma dei semplici esperimenti possono restituire a chiunque la meraviglia della scoperta. Il museo non vuole né può sostituirsi a un'esposizione sintetica, compito della scuola e dell'università, ma può far molto per alleviare la noia e dare significato e interesse alla fatica di quello studio, orientandone le scelte.

L'obiettivo di divertire
Le apparecchiature sperimentali, disposte nello spazio in un ordine asistematico e non disciplinare, non indicano alcun percorso preferenziale. Le didascalie, ridotte al minimo, più che spiegazioni sono istruzioni per l'uso dell'apparato sperimentale o interrogativi espressi per attirare l'attenzione su quello che succede. Molto evidente l'obiettivo di divertire, creando un legame di gioco con l'oggetto e un'interazione sociale tra più persone, siano essi gruppi familiari o classi scolastiche.

Macchine improbabili
Anche gli spazi, privi di pareti divisorie, permettono agli utenti un percorso libero da ogni vincolo, invitando a cogliere sin dal primo sguardo tutto l'insieme, per scegliere il gioco più attraente. Nelle apparecchiature sperimentali, caratterizzate soprattutto dalla solidità, dalla robustezza e dalla semplicità con cui possono essere manipolate c'è invece scarsa attenzione per il design dell'allestimento espositivo. Le parti strutturali ostentano i congegni dell'apparato più che celarli, facendoli assomigliare a buffe e improbabili macchine di un inventore da fumetto.

Laboratori-officine
Tutti i centri sono provvisti di laboratori-officine attrezzati con macchine utensili per la lavorazione del legno e del ferro e con un minimo di attrezzatura elettronica. Questi spazi permettono la manutenzione e la produzione in proprio di gran parte degli apparati del museo e di molti articoli in vendita presso il negozio del museo. Molto del successo degli *Hands-on interactive centres* (questa la denominazione ufficiale) è dovuto alla fantasiosa creatività e al fertile ingegno dei *fabricators*: una categoria di tecnici provvista di competenze miste di elettronica, meccanica, informatica, che (spesso con la consulenza di scienziati ed educatori ma anche autonomamente) inventano, progettano e realizzano gli *exhibits*, cioè le apparecchiature sperimentali del museo, e i *gadgets* venduti negli *shop* assieme a pubblicazioni e video cassette. I *fabricators* sono circondati dallo stesso prestigio che nei Paesi latini è attribuito solitamente all'accademico, e più al teorico che allo sperimentale. Infatti siedono con pari dignità nei consigli scientifici dei musei accanto a scienziati ed educatori, sono ascoltati, riveriti e contesi sia come dipendenti a contratto sia come liberi professionisti con tanto di studio e *copyright*.

Saper fare
Nella patria di Bacone saper fare è ancora una forma nobile del sapere. Molte obiezioni possono essere rivolte a questo modello anglosassone, in cui predominano una casualità e una asistematicità così spinte da rendere spesso le sale di questi centri scientifici poco dissimili da un luna park. La sciatteria del *design*, la noncuranza estetica è uno snobismo inglese che da noi sarebbe poco apprezzato. La ludicità e il divertimento come criterio prevalente, inducono il sospetto di una compiacenza non del tutto disinteressata verso il visitatore (anche per i musei, soprattutto se poco provvisti di finanziamento pubblico, vale l'indice di gradimento che per direttori e *sponsor* è sinonimo di successo e di prosperità) e non solo diretta verso conclamati e nobili obiettivi di acculturazione. Di fatto a livello sociale questi musei funzionano egregiamente, e pur essendo sempre affollatissimi denunciano un numero di danneggiamenti e di atti di vandalismo assai inferiori ad altri musei dotati di apparecchiature tecnologicamente più sofisticate ma meno interattive. Per chi abbia avuto l'occasione di visitarne qualcuno, è evidente la diversa atmosfera, la sincera e allegra curiosità che irradia da questi luoghi rumorosi e privi di sacralità seriose, dove famiglie e scolaresche interagiscono con un divertimento che accomuna adulti e bambini. Vera assente, la noia che subivamo associata alla polvere, alle domeniche di pioggia e a quella lunga teoria di oggetti sotto vetro contrassegnati da dimenticati nomi latini nei musei della nostra infanzia.

La ricetta vincente
La ricetta vincente sembra essere semplice ma non banale: coinvolgere attivamente nella ricerca il consumatore ignorante e distratto da tanti complicati elettrodomestici e fargli assaggiare di nuovo il gusto della più antica e congeniale delle pietanze, ormai così rara e difficile da assaporare: la meraviglia.



I musei interattivi in Gran Bretagna

NOTE CARATTERISTICHE
*Mirati a una migliore diffusione tra il pubblico della scienza e della tecnologia (inclusa l'ingegneria del processo industriale). Contemporanei piuttosto che storici. Interattivi (*hands on*) attraverso la manipolazione di apparecchiature sperimentali specialmente costruite per incoraggiare i visitatori a investigare nei fenomeni naturali e nella scienza nascosta dentro la tecnologia. Sono inseriti in un programma nazionale di appoggio alla diffusione della cultura scientifica attraverso l'*Interactive Science and Technology Project, *uno strumento legislativo attivato nel 1987 dalla Sezione di cultura industriale del Dipartimento per la tecnologia e l'industria e dalla Nuffield Foundation. Sono membri dell'*European Collaborative Science Industry and Technology Exposition *(ECSITE), consorzio affiancato dalla CEE che unisce i più importanti musei scientifici europei.*

THE EXPLORATORY Tempel Meads. BRISTOL Tel. 0044 272 634321.
SCIENCE MUSEUM Exhibition Road, LONDON SW7 2DD Tel. 072 938 82.
TECNIQUEST Bute Street, Pier Head, CARDIFF CF1 6AA Tel. 0222 460211
GREEN'S MILL CENTRE Belvoir Hill, Sneinton NOTTINGHAM Tel. 0602 503635.
HAMPSHIRE TECHNOLOGY CENTRE Romsey Road, WINCHESTER, Hampshire Tel. 0962 63791.
JODRELL BANK SCIENCE CENTRE, MACCLESFIELD, Cheshire SK11 9DL Tel. 0477 71339.
LIGHT ON SCIENCE Newhall Street, BIRMINGHAM B3 1RX Tel. 021 235 1022 (Sezione hands on del Birmingham Science Museum).
THE MICRARIUM The Crescent, BUXTON, Dershire SK17 6BQ tel. 0044 029878662.
SCIENCE FACTORY Museum of Science and Engineering, Blandford Square, NEWCASTLE UPON TYNE NE1 4JA Tel. 0044 091 232 6769.
TECHNOLOGY TESTBED Princess Dock, LIVERPOOL L3 0AA Tel. 051 207 0001.
XPERIMENT Greater Manchester Museum of Science and Industry, Castfield, MANCHESTER M3 4JP Tel. 061 832 2244.
DISCOVERY DOME 6 Itinerante da Pasqua a settembre sede fissa c/o Nuffield Foundation, 28 Bedford Square, LONDON WCIB 3EG.

Trieste/Terra Nova
Antartide per tutti

L'Antartide dentro un museo, *ovvero* l'immaginario dell'esplorazione

di *Antonio Brambati*
Istituto di geologia e paleontologia, Università di Trieste

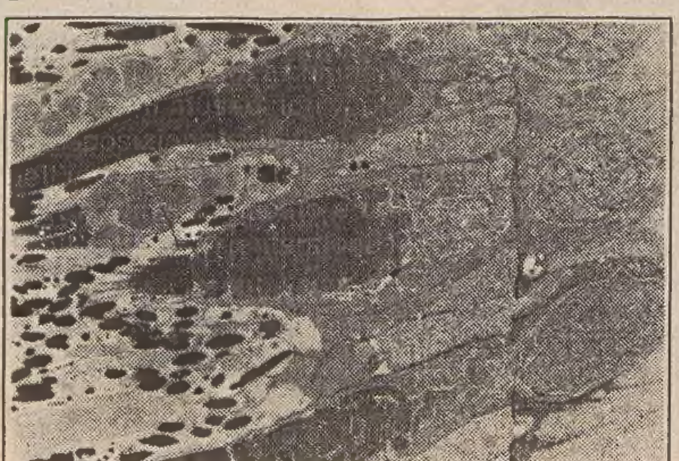
E' di questi giorni la notizia che si realizzerà a Trieste un'esposizione permanente sulle spedizioni italiane in Antartide. L'Antartide è l'ultimo continente ancora largamente inesplorato; una terra nuova che si offre, immenso laboratorio naturale, per la comprensione di alcuni misteri sulla struttura e la storia del nostro pianeta. La sua esistenza rende possibile, in condizioni uniche e privilegiate, l'osservazione dell'evoluzione di processi di patologia ambientale che ci riguardano tutti.
Ma l'Antartide è anche un serbatoio di risorse e di conoscenze. I suoi immensi ghiacciai costituiscono la maggiore riserva d'acqua dolce del mondo. Il suo sottosuolo nasconde immense risorse minerarie. I mari che la circondano forniscono all'ecosistema con il plancton e il krill la più ricca concentrazione di sostanze alimentari della Terra. La sua atmosfera svolge un ruolo fondamentale delle dinamiche climatiche del pianeta (le sezioni antartiche forniscono via satellite i dati indispensabili per le previsioni climatiche di lungo periodo). Infine, è proprio sopra l'Antartide che è stato avvistato per la prima volta il buco nella fascia di ozono che ci protegge dalle radiazioni UV.
L'Italia, con le numerose spedizioni organizzate, è andata accumulando in questi anni una ricca e interessante documentazione. E' nata così l'idea di un museo capace di raccontare in modo avvincente i risultati, i pericoli e le prospettive di questa straordinaria avventura umana. Varie le proposte giunte in merito al Comitato nazionale per l'Antartide; tra gli istituti pronti a offrire disponibilità di spazi e personale, il *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico*, che ha contattato l'Istituto di geologia dell'Università per proporre Trieste quale sede del nuovo museo.
Il suggerimento è stato accolto: a Trieste sono state riconosciute con questa scelta credenziali di tutto rispetto, sia sul versante scientifico, per il significativo apporto fornito al programma nazionale dagli istituti scientifici della sua Università e dal locale Osservatorio geofisico sperimentale, sia su quello culturale per la credibilità guadagnata dal *Laboratorio* quale informatore scientifico nei confronti della società.

Nuovi occhiali per la scienza • *rubrica a cura di* Ettore Panizon

Sezione di retina di guato giallo al microscopio ottico.



Una sezione della stessa retina (ruotata di 90 gradi) fotografata al TEM.



La base di un "cono" fotografata al TEM (12.000x).



Ingrandimento fotografico dell'immagine precedente.



Foto di un "cono" spaccato con la tecnica del crio-decapaggio.



L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

Capire la natura e l'ambiente

ecologia: scienza e impegno civile

intervista a *Enrico Feoli*, Dipartimento di biologia, Università di Trieste



Enrico Feoli, docente di botanica presso l'Università di Trieste, si occupa in maniera attiva oltre che operativa di studi di ecologia teorica e della loro diffusione in Italia e in particolare nella nostra regione. Tra le iniziative a cui ha collaborato, spiccano, oltre alla fondazione della rivista scientifica «Coenoses», le attività di ricerca e didattica superiore che fanno capo al Centro internazionale di ecologia teorica ed applicata (Ceta), con sede a Gorizia. Abbiamo chiesto a Feoli di introdurci alla disciplina scientifica dell'ecologia, anche in vista dell'imminente ciclo di conferenze organizzato dal *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico* (sul quale si veda la locandina a pagina 4). A Enrico Feoli abbiamo domandato anzitutto:

Come si potrebbe definire l'ecologia?

L'ecologia è la scienza che studia i rapporti esistenti tra gli organismi viventi e l'ambiente, dove tra gli organismi viventi bisogna ovviamente considerare anche l'uomo. L'ecologia è la scienza dei sistemi ambientali, quando questi interessano anche la vita. Se per esempio mi occupo di diffusione degli inquinanti nell'aria, non faccio ecologia, ma semplicemente studio la dispersione di alcuni elementi nell'aria. Se invece studio i rapporti tra la concentrazione dell'inquinante e gli effetti dell'inquinante stesso sugli organismi viventi, dai batteri all'uomo, ecco che comincio a fare ecologia. Quindi bisogna distinguere tra scienze ambientali ed ecologia. La geologia studia fenomeni tettonici, la fisica e la chimica possono essere scienze ambientali ma non sono ecologia. L'ecologia si serve di queste discipline quando, per esempio, studia i rapporti tra la geomorfologia di un territorio e la distribuzione delle comunità vegetali e animali, o il rapporto tra la roccia madre e il suolo, o il rapporto tra il suolo e la vegetazione.

Come definizione, potremmo dire insomma che l'ecologia è la scienza che studia gli ecosistemi. E che cos'è un ecosistema?

Prima di definire l'ecosistema, penso sia utile dare una definizione di biosfera. La biosfera è il sistema vita/ambiente che si trova distribuito sulla crosta terrestre interessando sia la terra emersa che i fiumi, i laghi, i mari e gli oceani, cioè l'ambiente acquatico. L'ecosistema può essere definito a diversi livelli: una zolla di terra, un intestino, una pozza d'acqua, una porzione di mare, un mare, la biosfera stessa, sono tutti ecosistemi. L'importante è che l'ecosistema di cui ci si sta occupando venga definito molto bene nei suoi limiti concettuali. Semplificando, posso dire che l'ecosistema è una parte di biosfera opportunamente scelta. Un ecosistema è un sistema che consiste di due componenti, una biotica e una abiotica: la prima comprende gli esseri viventi, la seconda i fattori fisico-chimici che interagiscono tra loro e con gli organismi stessi.



Qui sopra: la contaminazione radioattiva dei funghi in Regione nel 1988.

Come si può rappresentare un ecosistema?

In ecologia l'ecosistema viene rappresentato in uno spazio astratto multidimensionale definito dalle interazioni tra tutte le componenti del sistema. Le dimensioni di questo spazio non sono l'altezza, la lunghezza e la profondità ma un certo numero di fattori ambientali, come la temperatura, il pH, i nutrienti, l'acqua, la luce... Ogni punto di questo spazio specifica una certa combinazione di questi fattori. La *nicchia ecologica* di un organismo o di una comunità è data dall'insieme di punti dello spazio ecologico in cui la sua vita è possibile.

Che relazione c'è tra lo spazio reale, geografico, quello in cui ci spostiamo fisicamente, e lo spazio ecologico?

Nello spazio ecologico ogni organismo può seguire determinate traiettorie pur rimanendo fisicamente fermo. Per esempio, un albero di solito sta fermo nello spazio fisico, ma si muove nello spazio ecologico perché i fattori fisico-chimici cambiano intorno a lui. Viceversa, gli uccelli migratori fanno una lunghissima strada nello spazio fisico proprio per non muoversi nello spazio ecologico, cioè per trovare in posti lontani le condizioni della loro nicchia ecologica.

Come si inseriscono le attività umane nello studio dell'ecosistema?

Abbiamo detto che un ecosistema è dato da elementi biotici ed elementi abiotici. L'uomo è il principale elemento biotico. A differenza degli altri, difatti, è capace di produrre cambiamenti nei rapporti tra tutti i componenti dell'ecosistema. L'uomo influisce sulla catena alimentare dell'ecosistema, condizionando il passaggio di energia e di materiali da un comparto a un altro del sistema stesso. La catena naturale assume livelli di artificialità crescente fino al punto in cui l'ecosistema diventa dipendente da un continuo *input* energetico. Sia il sistema agricolo che quello industriale non durerebbero a lungo senza il lavoro dell'uomo. Molto presto un ecosistema naturale verrebbe a ricostituirsi qualora l'uomo smettesse di lavorare. Ma quale sistema naturale? Uno dei tanti possibili: da quello desertico nella peggiore delle ipotesi, a quello della foresta nella migliore delle ipotesi. E dico questo perché lo sviluppo dell'uno o dell'altro dipende dall'intensità della modificazione che l'uomo ha provocato sull'ecosistema originario. Faccio un esempio: da un punto di vista macroclimatico la Sardegna potrebbe essere coperta da foreste, ma le escursioni termiche che avvengono a livello del suolo denudato a causa del sovrappascolamento non consentono la germinazione di quelle piante che ricostituirebbero le foreste per via naturale.



Nella foto: un lichene della specie Pseudevernia furfuracea. *In alto a destra: mappa dell'inquinamento atmosferico del Veneto, realizzata mediante indicatori biologici. Più sopra: contaminazione da Cromo in un'area di studio (cortesia Cooperativa Ecothema).*

Qual è il ruolo dell'ecologia nella valutazione di impatto ambientale?

Ovviamente è fondamentale, sebbene molto spesso la valutazione venga fatta da gruppi di persone che non coprono le competenze ecologiche necessarie. Non dico questo per essere polemico, la colpa è probabilmente degli ecologi che non sono riusciti a crescere di numero in modo proporzionale alla domanda di ecologia. La necessità della valutazione di impatto delle attività umane è nata proprio nelle società più industrializzate, e in queste società sono anche sorti i più importanti centri per lo studio dell'ecologia. Come ho già detto in altre occasioni, proprio l'emergenza ambientale ha stimolato la crescita scientifica dell'ecologia. Paradossalmente, insomma, l'ecologia deve molto all'inquinamento, come la fisica e la chimica devono molto alle guerre.

Lei pensa che la realizzazione di un progetto di pianificazione ambientale su basi teoriche possa intervenire sulle scelte politiche? O non accade piuttosto il contrario?

Un progetto di pianificazione ambientale parte sempre da una richiesta politica. Fare una pianificazione di sviluppo su basi teoriche è sempre possibile, attuarla è forse impossibile. L'attuazione di un piano teorico si scontra con difficoltà originate da tutti gli interessi presenti sul territorio. L'ecologia non si può imporre, l'ecologia può servire solo per guidare la scelta tra un insieme di scelte possibili. Però in questo contesto l'ecologia non è più una scienza neutrale. Gli effetti di una scelta sono quantificabili nei termini della teoria ecologica, pertanto nella ricerca del compromesso l'ecologia può svolgere di fatto un ruolo molto importante.



Quando si pensa all'ecologia si è portati a pensare sempre e solo alla protezione della natura o a una scienza di catalogazione. Lei, invece, ha parlato dell'ecologia teorica e della sua importanza. Che cosa si sta facendo a Trieste in questo campo?

La catalogazione degli organismi viventi e la catalogazione e classificazione dei processi ecologici, cioè delle possibili dinamiche ambientali, sono necessarie per lo sviluppo dell'ecologia come l'acceleratore è necessario per lo sviluppo della fisica delle particelle. Produrre degli esperimenti ecologici completamente controllati a livello di ecosistema complesso, cioè con più di due popolazioni di specie interagenti è molto difficile, se non impossibile. Il laboratorio più importante dell'ecologia resta sempre la natura: pertanto l'osservazione dei fenomeni in natura è la base indispensabile per la ricerca ecologica. Rispondendo alla domanda, Trieste sta diventando un centro molto importante per l'ecologia teorica a livello mondiale. Presso il Dipartimento di biologia dell'Università sono state sviluppate metodologie molto avanzate per la catalogazione e l'elaborazione dei dati ecologici. Inoltre, il Centro internazionale di fisica teorica di Miramare ha promosso iniziative di grande interesse per la comunità scientifica internazionale, come il Corso di ecologia matematica e il Centro di ecologia teorica e applicata di Gorizia. Da queste due iniziative ne sono scaturite delle altre. Cito ad esempio il periodico internazionale *"Coenoses"*, che pubblica articoli originali sulle applicazioni della matematica ai problemi dell'analisi delle comunità ecologiche (incluse quelle umane) e l'attivazione di programmi di ricerca internazionale in Paesi in via di sviluppo (Tanzania, Etiopia, Cina) in collaborazione con il nuovo Centro internazionale per l'ambiente (ICEEM) dell'UNIDO. Il Corso di ecologia matematica, che è ormai giunto alla sua terza edizione, ha il merito di essere l'unico corso al mondo dove per alcune settimane si incontrano studiosi di ecologia di tutti i Paesi, amici e nemici, per trattare i temi più urgenti e le metodologie più avanzate dell'analisi ambientale. Personalmente spero che queste attività non si limitino alla formulazione di modelli teorici, ma che riescano a stimolare quelle iniziative che possono portare ad applicazioni concrete della teoria per lo sviluppo di strumenti sia tecnologici che giuridici indispensabili per il miglioramento della qualità della vita.

Potrebbe tracciare un quadro panoramico delle nuove frontiere dell'ecologia? Esistono indirizzi di ricerca che siano già a un livello avanzato?

Purtroppo l'ecologia è arrivata alla ribalta del grande pubblico non per i suoi meriti scientifici, ma per "demerito"... del pubblico stesso. L'ecologia è diventata popolare non come disciplina scientifica di primaria importanza per la comprensione della natura, ma piuttosto come uno strumento di denuncia o di protesta di una situazione ambientale patologica. Il "lamento ecologico" ha prepotentemente oscurato il ruolo e il valore dell'ecologia, tanto che ben pochi sanno che l'ecologia esiste come disciplina scientifica che si basa su principi suoi propri.

Le frontiere dell'ecologia sono ambiziose e non si può dire che non si raggiungano con successo risultati di alto valore teorico e applicativo. Vengono studiati problemi come quello della complessità e della stabilità dove anche l'aspetto evolutivo, e quindi la genetica, svolgono un ruolo di primo piano. Nell'ecologia più che in altre discipline c'è l'incontro delle scienze cosiddette esatte (fisica, chimica, fisiologia), dove gli esperimenti e le misure possono avere un certo rigore, con quelle non esatte (botanica, zoologia, sociologia, economia), dove il problema risiede nel misurare in qualche modo il difficilmente misurabile o il non misurabile. Sono di grande importanza i risultati che si stanno ottenendo nel campo dell'integrazione dell'informazione e nello sviluppo di modelli matematici di previsione sui rapporti tra ecosistemi e cambiamenti climatici. Sono invece ancora molto carenti le ricerche sulla microbiologia ecologica, quelle ricerche che consentirebbero forse di trovare soluzioni al grave problema della decomposizione (trattamento dei rifiuti tossici, sviluppo di filtri, depurazione delle acque, eccetera). In questo campo si deve ancora trovare un'intesa tra discipline ingegneristiche ed ecologia.

MONITORAGGIO

Aria: l'inquinamento atmosferico si "legge" meglio nei licheni

di *Pier Luigi Nimis*
Dipartimento di biologia,
Università di Trieste

I problemi ambientali si sono oggi imposti a livello di massa. Con la crescita esponenziale dell'economia, anche l'inquinamento è soggetto a una accelerazione progressiva, di intensità spesso sottovalutata. Negli anni Settanta il rapporto del MIT sui "Limiti dello sviluppo" *scatenò feroci polemiche proprio perché, simulando i disastrosi effetti dello sviluppo esponenziale, metteva in discussione le ideologie più o meno esplicite nel nostro modello di società. Anche il catastrofismo dei movimenti ambientalisti esprime l'incompatibilità dei processi esponenziali con la delicata dinamica della biosfera. La crescente sensibilità ambientale stenta però a trasformarsi in vera e propria cultura, in quanto il processo di degrado è più veloce di quello di acculturazione. Esempio tipico è l'incultura oggi imperante, a tutti i livelli, rispetto al problema dell'inquinamento.*

Iniziative quali il "Treno verde" o la "Goletta verde", pur avendo il grande merito di sensibilizzare l'opinione pubblica sui problemi ambientali, sono basate su presupposti fondamentalmente diseducativi: esse suggeriscono che l'inquinamento sia un fenomeno facilmente quantificabile con poche misure strumentali, effettuate da apposite centraline. L'inquinamento, invece, è un fenomeno estremamente variabile nello spazio e nel tempo e va misurato su base statistica, con un'alta densità spaziale e temporale di punti di misura. Visto il costo estremamente elevato delle centraline, ciò è per lo più impossibile, e la presunta esattezza della singola misura strumentale viene spesso spacciata per una esatta stima del fenomeno. In altre parole, le centraline fungono spesso da "foglia di fico dell'assessore", fornendo, quando necessario, una serie di dati che dimostrano come "il fenomeno sia sotto controllo", anche se questi dati sono tutt'altro che soddisfacenti per una corretta stima del fenomeno.

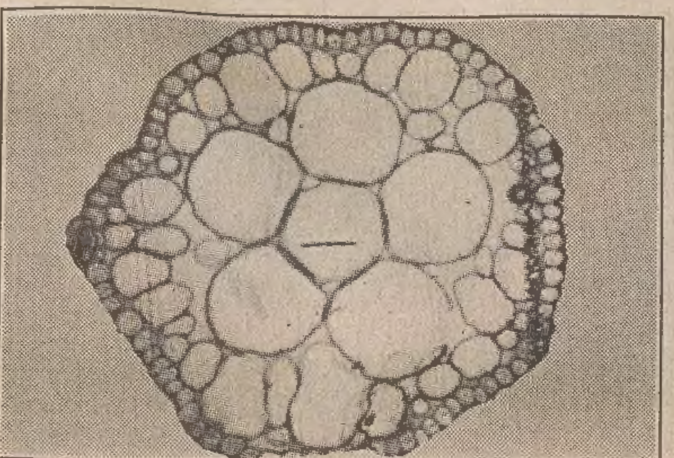
Una strategia alternativa è quella di mappare l'inquinamento sfruttando degli organismi quali "bioindicatori" o "bioaccumulatori". Nel primo caso si utilizzano reazioni indotte dall'inquinamento sugli organismi, nel secondo questi vengono usati come "deposimetri naturali". Si ottengono così, in tempi brevi e con costi contenuti, carte d'inquinamento di aree anche vaste con un'alta densità di punti di prelievo. La relativa imprecisione del dato biologico, soggetto a forte variabilità in quanto dipendente da numerosi fattori ecologici, viene ampiamente compensata dall'alta densità spaziale dei punti di prelievo. Inoltre, gli organismi fungono da "integratori naturali", evidenziando l'inquinamento medio su periodi di tempo lunghi, variabili a seconda dell'organismo prescelto. Ovviamente non tutti gli organismi sono adatti a essere utilizzati come bioindicatori o bioaccumulatori, ed è possibile servirsi di una vasta gamma di specie, sia animali che vegetali, per evidenziare fenomeni di inquinamento diversi.

Il Dipartimento di biologia dell'Università di Trieste è all'avangurdia nell'impiego dei licheni come indicatori di inquinamento atmosferico e ha prodotto carte di inquinamento per l'intera regione Veneto, per le città di Roma, La Spezia, Savona, Macerata, eccetera. In particolare, nel caso della regione Veneto, le mappe di inquinamento ottenute attraverso i licheni, che forniscono un'impressionante "fotografia" dello stato dell'aria su tutto il territorio regionale, verrannno utilizzate proprio per ottimizzare la dislocazione delle centraline.

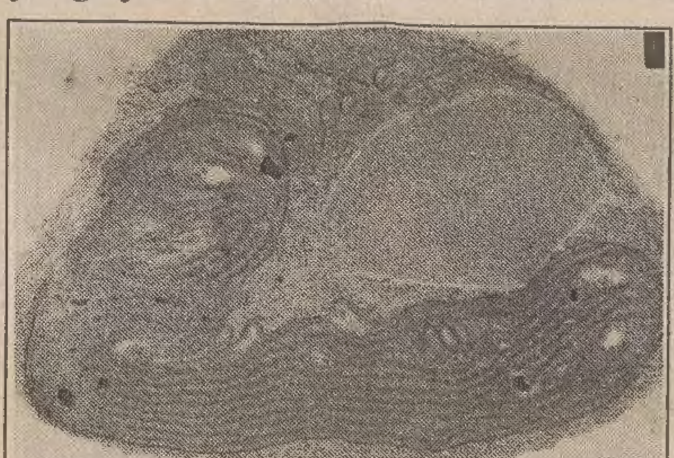
La serie di fotografie nella pagina accanto mostra a successivi ingrandimenti (da 200 a 41.000x) la struttura del sistema fotorecettore animale, dalla retina alle molecole di rodopsina un pigmento sensibile alla luce. Foto 1-4: originali di D. Ota (Dipartimento di biologia dell'Università di Trieste); foto 5: originale di G. Raviola.

In questa pagina: viaggio in un cloroplasto, fotorecettore vegetale. Si va dalla sezione di un'intera alga rossa (45x) fino alle molecole di ficoeritrina (400.000x), pigmento fotosensibile dei cloroplasti dell'alga. Originali di L. Talarico (Dipartimento di biologia dell'Università di Trieste).

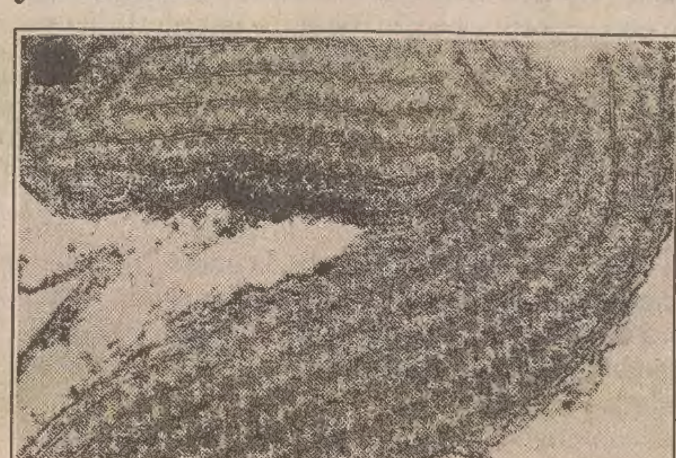
Sezione trasversale di alga rossa al microscopio ottico.



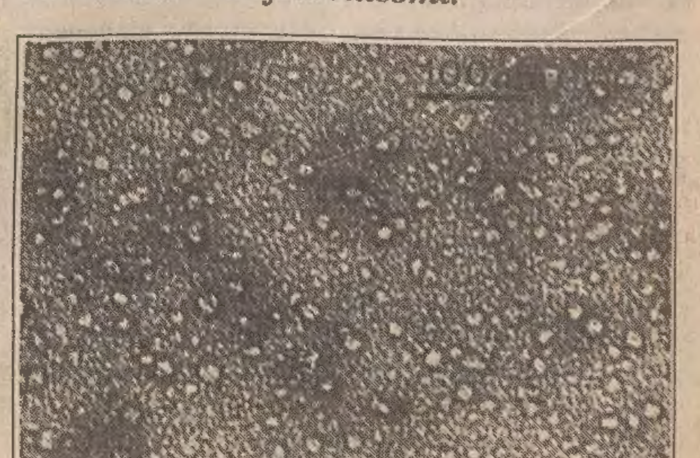
Sezione di cellula corticale di alga rossa fotografata al TEM.



Cloroplasto di alga rossa. Sono visibili i ficobilisomi.



Fotografia al TEM di molecole di ficoeritrina contenute nei ficobilisomi.



La vita versata

Racconto inedito di Miroslav Holub

Istituto clinico di medicina sperimentale, Praga

Un topo muschiato (altrimenti noto come *Ondatra zibethica zibethica*, Linn. 1766, anche se alla bestiola le questioni di nomenclatura non torcevano un pelo) era caduto nella piscina che avevamo in giardino, rimasta vuota tranne che per una modesta pozza d'acqua invernale. Si era rannicchiato in un angolo, gli occhi selvatici colmi di terrore, la pelliccia bruno-dorata e la coda nuda infangata. Prima che potessi recuperare strumenti adatti ad acciuffare e a trasferire topi muschiati, un vicino di passaggio (sicuramente poco esperto in materia di roditori *per se*, e persino di quelli viventi in Cecoslovacchia dal 1905), convinto di essersi imbattuto in un ratto gigante assetato di sangue come una tigre e impestato di germi come un lazzaretto, corse a casa a prendere un fucile da caccia e fece fuoco sul topo muschiato finché l'animale fu ridotto a una palla informe di pelliccia zuppa, munita di zampe posteriori palmate e di denti scoperti.

C'era sangue su tutte le pareti e sul fondo della piscina, e sulla palla di pelliccia, e la pozza d'acqua era ormai un piccolo mare purpureo. L'episodio venatorio si era concluso, e io restavo a fronteggiarne le conseguenze. Il genere umano può essere suddiviso fondamentalmente tra i cacciatori e le persone che fronteggiano le conseguenze.

Dopo aver seppellito l'intruso sotto gli abeti dietro casa, mi armai di un fagotto di stracci per andare a ripulire il poligono di tiro. La piscina è priva di scarico, sicché l'operazione si rivelò un esercizio di alta tecnologia dello straccio, in cui occorreva dar la caccia al sangue a nord, sud, est, ovest, di sopra e di sotto.

Dar la caccia a del sangue in una piscina vuota può essere altrettanto suggestivo quanto ascoltare un disco della "Sinfonia degli addii" di Haydn con la punta incantata sempre nello stesso solco. Così, nel corso di quell'ora, sviluppai una profonda intimità con il sangue, cominciando a fantasticarci sopra. Il sangue non era solo una sostanza, di aspetto sgradevole, che pure in circostanze normali e appropriate sarebbe dovuta restare all'interno del topo muschiato, ma era la sua stessa vita segreta, che era stata forzata ad abbandonarlo. Il piccolo mare purpureo era in realtà un residuo dell'antico mare Siluriano: quel fluido, conservatosi quale ambiente interno quando la vita era giunta a riva, era stato mantenuto talmente simile che il vecchio organismo non aveva avuto bisogno di troppe modifiche (pur con una concentrazione di ioni radicalmente mutata, con un'altra pressione osmotica e altri sali disciolti).

Sta di fatto che il topo muschiato aveva subìto la furia di quel suo piccolo mare purpureo, venendone gettato in secco. Milioni di globuli rossi si stavano coagulando e disintegrando, mentre le loro molecole di emoglobina esitavano nell'imbarazzo di non sapere a chi cedere le proprie quattro molecole di ossigeno. I globuli sanguigni erano impigliati in ampie e delicate reti di fibre formate dal fibrinogeno, stimolato dalla trombina che si era prodotta a partire dalla protrombina. Una lunga sequenza di eventi si svolgevano in rapida successione in presenza di ioni calcio, fosfolipidi derivanti dalle piastrine e tromboplastina, mediante la quale le arterie squarciate cercavano di mostrare che l'emorragia doveva essere arrestata, perché faceva male al topo muschiato (anche se a lungo andare non avrebbe avuto più importanza). E probabilmente nel siero attorno alle cellule sanguigne guizzavano ancora, spegnendosi e poco a poco dileguandosi, i segnali di vita interna del topo musciato: istruzioni dalla ghiandola pituitaria destinate al fegato e alle surrenali; sostanze inviate dalla tiroide a tutti i tipi di cellule; dalle ghiandole surrenali agli zuccheri e ai sali; dal pancreas al fegato e ai tessuti adiposi... Era l'agonia del dibattito che si svolge continuamente all'interno di un organismo i cui miliardi di cellule coesistono grazie a un'informazione unificata.

A causa della caccia finale, l'adrenalina e l'ormone di risposta allo stress, la corticotrofina, stavano ancora squillando i loro segnali d'allarme. Segnali d'allarme correvano al fegato, per mobilitare riserve di zucchero; altri squilli d'allarme giungevano a dilatare le arterie coronarie e quelle dei muscoli dello scheletro, a stimolare l'attività cardiaca, a dilatare i bronchioli, a contrarre le arterie della pelle e a far rizzare il pelo, a far dilatare le pupille. Tutto quel battagliero tumulto interiore si trovava però abbandonato da ciò che gli avrebbe dovuto rispondere. E c'erano poi le endorfine, che alleviano l'ansia e il dolore dell'ultima battaglia di un guerriero, e le sostanze destinate a stimolare la memoria, dato che la lotta per la sopravvivenza dev'essere ricordata chiaramente.

In quel sangue c'era insomma tutto il coraggio del topo muschiato: un'audacia elementare, che è al di là della vita stessa.

Ciò che più comporta è che, tra le proteine in denaturazione e le catene peptidiche in disintegrazione, i leucociti erano ancora vivi, nel vero senso del vivere, come sa chiunque abbia sbirciato nell'oculare di un microscopio, o chi ricordi che in un laboratorio di Cambridge delle cellule viventi sono state coltivate a partire da una salsiccia (una salsiccia che doveva aver subito esequie ben più prolungate del sangue che stia ancora sgorgando). Quei leucociti erano naufraghi in un mare sempre più freddo, sparsi a milioni e miliardi sul cemento, sugli stracci e nella fitta tenebra di quelle pieghe energicamente strizzate. Stravolti dall'inconsueta temperatura e dalla concentrazione di sali, deprivati di segnali coerenti e dell'eco gentile dei tessuti endoteliali dei vasi sanguigni, erano pur sempre vivi e in cerca di ciò che erano destinati a cercare. I linfociti T stavano impiegando i loro recettori per distinguere i marcatori del topo muschiato da quelli dei corpi estranei, i linfociti B mettevano al lavoro le proprie molecole di anticorpi per raccogliere tutto ciò che l'animale aveva appreso nel mondo esterno nel corso della propria evoluzione. Le cellule del plasma seminavano anticorpi in vari punti. I fagociti arrancavano come amebe sul fondo della piscina, distribuendo qua e là i propri granuli digestivi nel tentativo di divorarne l'immensa superficie. E di tanto in tanto una cellula isolata si suddivideva, creando due ultime cellule.

A dispetto delle perdite crescenti, gli enormi battaglioni destinati alla difesa della propria dimora continuavano a proteggere il topo muschiato dalla polvere, dal cemento, dal fango, dal cotone e dall'erba; si adoperavano per riconoscere, reagire, segnalare, immobilizzare, a costo di morire fino all'ultimo ignoto combattente nel corso della lotta finale per le insegne di un'identità oramai sepolta sotto gli abeti. La vita multicellulare è complicata, come lo è la morte multicellulare. Quella che viene chiamata morte di un individuo, ed è definita dall'arresto cardiaco (o, più precisamente, dal venir meno delle funzioni cerebrali) non corrisponde comunque alla morte del sistema che ne custodisce e ne assicura l'individualità. Grazie agli elementi di questo sistema, ai fagociti e ai linfociti, il topo muschiato era in un certo senso ancora lì, e correva in giro nella piscina alla ricerca di se stesso [...].

Il sangue versato ci mostra come non esista una morte sola, bensí solo il flusso di tante piccole morti di vario grado e significato. Così l'oscuro evento della fine non è meno straordinario e prolungato dell'oscuro evento del principio, quando una cellula maschile e una cellula femminile danno avvio al fluire del suddividersi e diversificarsi di cellule e tessuti, attivando un insieme di informazioni ereditarie e reprimendone altre, rendendo possibili miliardi di origini e di conclusioni cellulari, di arrivi e di partenze.

Aveva dunque ragione quel grande osservatore che fu William Harvey a definire il sangue primo dei quattro elementi di cui erano costituiti, secondo i Greci, il mondo e il corpo; scriveva infatti nel 1651: "Siamo giunti alla conclusione che il sangue vive di vita propria e che non dipende in nessun modo da alcuna parte del corpo. Il sangue è non solo causa della vita in generale, ma anche della maggiore o minore durata della vita, del sonno e del moto, dell'ingegno, del talento e della forza. E' il primo a vivere, e l'ultimo a morire".

Il sangue troverà la sua strada, pensai, strizzando un altro straccio. E' il colore del sangue a rendere così orribile la morte. Le persone e le altre creature viventi hanno terrore del sangue proprio per questa ragione (a meno di non essere squali, jene o lupi o affini). E' un terrore che ostacola ulteriori violenze, quando l'immobilità, l'incoscienza o la mancanza di respiro non valgono più a nulla. Un terrore che rende le fotografie di assassinii o di stragi ben lontane dall'essere adeguate all'evento vivo. La reazione umana al colore del sangue risponde fedelmente alla realtà microscopica, al letale precipitare di flutti che causiamo mandando a segno, in modo così civile e pulito, il proiettile del colpo di grazia ... .

Dicono che non si possa vedere attraverso il sangue; ma io credo si possa, sia pure soltanto in virtù di questo istintivo terrore.

Buon per le Kere, divinità del sangue versato, che nessuno si preoccupi di osservare al microscopio i campi di battaglia; buon per i vivi, che le sinfonie degli addii molecolari non siano udibili; buon per i cacciatori, che essi non debbano poi pulire tutto.

Da: *The dimension of the present moment*, Faber e Faber, London 1990, tr. Piero Budinich.
Per gentile concessione dell'Autore.



Topo muschiato **(Ondatra zibethica zibethica)**

Ricordando John S. Bell

di Giancarlo Ghirardi

Dipartimento di fisica teorica,

Università di Trieste

Domenica 30 settembre si è spento a Ginevra John S. Bell uno dei protagonisti dell'appassionante dibattito sullo schema teorico che sta alla base di tutta la fisica moderna: la meccanica quantistica. Mi sembra doveroso ricordare questo profondo e brillante pensatore la cui scomparsa segna una perdita incalcolabile per la comunità scientifica, sottolineare gli stretti legami che egli ha avuto con l'ambiente scientifico di Trieste, e infine esprimere il mio profondo cordoglio per la perdita di colui che è stato per me da molti anni un maestro spirituale e, recentemente, anche un caro amico.

Nato a Dublino nel 1928, impegnato al CERN dal 1960 nel settore della fisica degli acceleratori, Bell ha dato contributi di estremo rilievo in vari campi: il suo nome, tuttavia, resta legato soprattutto al teorema che egli ha dimostrato nel 1964, universalmente noto come "diseguaglianza di Bell".

Fin dal suo apparire, la meccanica quantistica ha rappresentato una stimolante sfida concettuale per le sue rivoluzionarie implicazioni: non è certo casuale che attorno a queste tematiche si sia acceso un dibattito appassionante tra figure del livello di Bohr, Einstein, Heisenberg e Schroedinger. Si può tuttavia appropriatamente asserire che solo con la formulazione del teorema di Bell si è avuta la misura esatta della sfida concettuale rappresentata dal "mistero del mondo quantistico".

Rivediamo alcune tappe dell'evoluzione del pensiero di questo straordinario ricercatore. Egli stesso ricorda come, già da studente, fosse rimasto profondamente insoddisfatto della presentazione della meccanica quantistica che gli era stata offerta e che ritrovava in tutti i libri. Un aneddoto risulta particolarmente significativo. John narra come, all'inaugurazione del CERN, si trovò nello stesso ascensore con Niels Bohr. E dichiara: *«Non ho saputo trovare la forza di dirgli: "Io penso che la vostra interpretazione di Copenaghen sia disgustosa". Per di più la corsa è stata breve: se l'ascensore si fosse fermato per un guasto,sarebbe stato il mio giorno!»*.



Bell, giovane ricercatore, comincia a riflettere. Egli sa che "c'è un compito che lo aspetta". Nel 1963, mentre trascorre un periodo a Stanford, in California, si accinge a svolgere questo compito e riesce a derivare la famosa diseguaglianza che porta il suo nome. Con sua stessa sorpresa, egli ha così fornito la prova che la meccanica quantistica è perfino più strana di quanto chiunque avesse immaginato. In sostanza, il teorema di Bell ci ha lucidamente posti di fronte al prezzo che la natura ci chiede di pagare: accettare la "nonlocalità" dei fenomeni fisici.

Per concludere, ritengo interessante sottolineare i legami di Bell con Trieste e con un gruppo di fisici di cui faccio parte. Bell ha visitato varie volte la nostra città. L'ultima visita è stata quella del novembre 1989, quando è stato invitato, assieme a una scelta schiera di fisici, a contribuire con una sua lezione alle celebrazioni per il 25.o anniversario della fondazione del Centro di fisica teorica.

Per quanto riguarda i miei rapporti personali con lui, non posso nascondere l'orgoglio che provo nel ricordare come negli ultimi quattro anni John si sia fatto paladino sulla scena internazionale di un modello teorico elaborato da Alberto Rimini di Pavia, Tullio Weber di Trieste e da me stesso, un modello che sembra offrire una possibile via d'uscita da alcune difficoltà di fondo del formalismo che ancora lo tormentavano. Nel 1986, all'Imperial College di Londra, al convegno che celebrò il centenario della nascita di Schroedinger, egli concluse la sua conferenza asserendo: *«Il modello di Ghirardi, Rimini e Weber ha rimosso le ragioni di fondo della mia paura che ogni formulazione esatta della meccanica quantistica debba entrare in conflitto con la fondamentale richiesta di invarianza relativistica»*. Nacque così uno scambio scientifico estremamente utile e stimolante e una stretta amicizia personale.

Dai molti indimenticabili ricordi che ho di John, dalle varie sue lettere che conservo, vorrei trarre un esempio che illustra efficacemente la figura di questo grande pensatore. Dopo aver letto il lavoro cui ho accennato sopra, egli ci scrisse una lettera che esordiva con questa frase: *«Cari professori Ghirardi, Rimini e Weber, ho letto con grande interesse e ammirazione il vostro lavoro»*. Credo che chiunque possa immaginare che cosa ha significato per noi che guardavamo a lui come alla massima autorità nel nostro settore, avere letto queste righe. La lettera continua sollevando alcuni problemi e si conclude con la seguente frase: *«Naturalmente sarò felice di ricevere una risposta da voi. Ma io considero il diritto di non rispondere alle lettere la più fondamentale delle libertà umane»*. In questa frase, per me, c'è veramente tutto John: il suo rispetto per gli altri, la sua mancanza di orgoglio, il suo sottile humour e la sua estrema correttezza.

L'angolo matematico

di *Andrea Sgarro*
Dipartimento di matematica e informatica,
Università di Udine

I codici di Hadamard

La geometria delle parole binarie non è una mera astrazione matematica: ve ne dovrebbero convincere le righe seguenti:

Quadro di avvio		Regola telescopica	
1	**1**	**H**	**H**
1	**0**	**H**	**K**

Vi indichiamo una costruzione "a telescopio". Partite dal quadro di avvio (che nella terminologia ufficiale dei matematici è una *matrice quadrata* di ordine **2**, ossia a due righe e due colonne); notate che in esso le due righe differiscono in una posizione sì, in una posizione no. Chiamatelo temporaneamente **H** e applicate la regola telescopica (**K** si ottiene da **H** scrivendo **1** invece di **0** e viceversa).

Ciò che ottenete è una nuova matrice quadrata, stavolta di ordine quattro: in essa due righe qualunque differiscono in due posizioni sì, in due posizioni no (verificatelo!). Un nome è un'etichetta: ebbene, l'etichetta **H** scollatela dalla matrice piccola e appiccicatela alla matrice grande: a questo punto potete riapplicare la regola telescopica e ottenere via via matrici quadrate di ordine **8**, e poi **16**, **32**, **64**, eccetera: esse godono tutte di una proprietà interessante: due righe qualunque differiscono in esattamente metà delle posizioni. Noi ci fermeremo alla matrice **H** che corrisponde a **n = 32**, ma naturalmente il nostro *algoritmo* (= procedimento costruttivo) potrebbe continuare a sfornare matrici di ordine sempre più elevato.

Sovrapponiamo ora **H** a **K**: ciò che otteniamo è una matrice *rettangolare* di **64** righe e **32** colonne: in essa due righe qualunque differiscono in *almeno* **16** posizioni (almeno, perché certe righe differiscono non in **16**, ma in **32** posizioni: quali? Pensate alla relazione che c'è fra **H** e **K**, se prendete la prima riga di **H** e la prima riga di **K**... basta!).

E adesso un colpo di scena: le 64 righe che abbiamo costruito sono 64 eccellenti *parole di codice!* Immaginate questa situazione: siete in un satellite nello spazio e dovete trasmettere a terra delle preziose immagini in bianco e nero, punto per punto (o meglio rettangolino per rettangolino, o in termini ancora più tecnici, *pixel* per *pixel*). A ogni pixel corrispondono 64 possibili livelli di grigio, codificati ciascuno con una parola in codice di **32** bit: le righe della nostra matrice rettangolare, per l'appunto, dalla prima che codifica il bianco da bucato alla sessantaquattresima del nero ala di corvo.

Dovete codificare un pixel dopo l'altro, trasmettere una parola di codice dopo l'altra... ma, ahimé, nel loro lungo viaggio le parole di codice vengono corrotte da inevitabili disturbi di trasmissione: certi **0** vengono ricevuti da terra come **1**, o viceversa. Prendiamo il caso di una parola di codice particolarmente sfortunata, che strada facendo sia stata alterata in ben 7 posizioni su 32. Mettetevi dal punto di vista del decodificatore a terra: che decisione prendere di fronte allo sgorbio che è stato appena ricevuto?

Ebbene, è qui che entra in gioco il fatto che le parole di codice (quelle vere, senza i disturbi, che il codificatore può passare in rassegna leggendole su una tabella) sono molto "distanti" fra di loro, differiscono in almeno 16 posizioni: ora 7 è più piccolo della metà di 16, per cui la parola di codice più "vicina" allo sgorbio ricevuto *è proprio la parola di codice corretta*. Il decodificatore è dunque in grado di correggere in ricezione configurazioni di 7 errori, il che non è affatto poco!

I codici basati sulle matrici **H** si chiamano *codici di Hadamard*, dal nome di un matematico illustre che morì quasi centenario nel 1963, in tempo per scoprire che le sue matrici avevano trovato una sorprendente applicazione nella teoria dei codici. Tale teoria è nata infatti negli anni Cinquanta, ed è una delle più belle e feconde della matematica recente. Bella dal punto di vista estetico, ma anche utile: per esempio il codice che vi abbiamo descritto è stato usato per trasmettere immagini spaziali in una delle spedizioni Mariner.

Un'ultima osservazione. Avrete notato che abbiamo usato termini geometrici del tipo di "distante" o "vicino": la geometria soggiacente non è quella tradizionale, è invece la geometria degli spazi di Hamming, della quale avevamo parlato nel numero precedente.

cializzati (resine particolari per includere il campione, un ultramicrotomo per farlo a fette), ma rende anche evidentemente assai difficoltoso il maneggio dei preparati, e oltremodo laborioso ottenere una ricostruzione tridimensionale completa dell'oggetto a partire da una serie ordinata di sezioni.

Prima di poter essere osservato, il campione deve essere innanzitutto disidratato e trattato chimicamente (colorato, contrastato); nel caso di tessuti viene anche incluso in resina e successivamente affettato, oppure fratturato a basse temperature in modo che si rompa lungo dei piani pertinenti (*criodecapaggio*). Successivamente, del piano sezionato si ottiene un sottile calco; questo può venire "ombreggiato" proiettando obliquamente dei vapori metallici che, andando ad accumularsi alla base delle piccole asperità, ne evidenziano la microstruttura tridimensionale. Poi la sezione viene adagiata su un supporto a maglie (retino) e introdotta in una camera a vuoto. Ma, soprattutto con campioni biologici, il preparato non è ancora al sicuro: il fascio di elettroni può venire concentrato solo fino a un certo limite.

Nonostante queste limitazioni che legano il TEM all'osservazione di un universo rigorosamente morto e quasi assolutamente piatto, la microscopia elettronica a trasmissione ha fatto compiere importanti passi avanti in varie discipline sperimentali, rendendo visibili entità (come molte strutture subcellulari, virus, distribuzioni e strutture molecolari, reticoli cristallini e così via) altrimenti conoscibili solo indirettamente.

Cellula batterica di E. coli *fotografata al microscopio elettronico a scansione.*



E. coli *al TEM. Sono visibili le fimbrie, invisibili agli altri microscopi.*



L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

Editore: Società Editoriale Libraria per azioni
Stampato presso: O.T.E. via G. Reni 1
Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, nº 773 del 24/1/90
Direttore responsabile: Margherita Hack
In redazione: Piero Budinich, Fabio Pagan
Hanno collaborato a questo numero: Enrico Ferrero, Marino Guardiani, Ettore Panizon, Paola Rodari, Nicoletta Tamburini, Virgilio Toniati
Redazione: via San Francesco 62 - 34133 Trieste - tel (040) 367361